



Intersecções do uso de biodigestores na economia circular

Intersections of the use of biodigestors in the circular economy

Suzy Cortez, Mestranda, Universidade Estadual Paulista - Unesp/Bauru

suzycortez@hotmail.com

Arthur Medeiros Figueiredo Barreto, Doutorando, Universidade Estadual Paulista – Unesp/Bauru

arthur.medeiros@unesp.br

Adriana C. Cherri, Profa. Dra., Universidade Estadual Paulista – Unesp/Bauru

adriana.cherri@unesp.br

Daniel Jugend, Prof. Dr., Universidade Estadual Paulista - Unesp/Bauru

daniel.jugend@unesp.br

Resumo

Nos últimos anos, pesquisas sobre os benefícios do uso de biodigestores aumentaram consideravelmente. A implementação e uso de biodigestores, entre outras vantagens, contribui para a redução de gases do efeito estufa, melhor descarte de resíduos sólidos e autossuficiência energética. Os biodigestores são estruturas fechadas, sem a entrada de oxigênio, e que atuam como reatores químicos, transformando a matéria orgânica em biogás e biofertilizantes. Paralelamente a isso, a abordagem da Economia Circular visa o crescimento econômico contínuo, em um ciclo fechado, com maior aproveitamento dos recursos naturais e reaproveitamento dos resíduos, preservando assim os recursos disponíveis para as gerações futuras. O objetivo deste trabalho é identificar os principais artigos e autores que relacionam os temas biodigestores e Economia Circular. Uma revisão bibliométrica foi executada entre as duas áreas analisadas e os principais resultados encontrados demonstraram um aumento na publicação dos temas e a integração entre as duas áreas de pesquisa.

Palavras-chave: Biogás; Biodigestor; Economia Circular; Sustentabilidade; Energia Renovável

Abstract



In recent years, studies on the benefits of using biodigesters have increased considerably. The implementation and use of biodigesters, among other advantages, contributes to the reduction of greenhouse gases, better disposal of solid waste, and energy self-sufficiency. Biodigesters are closed structures with no oxygen input, which act as chemical reactors, transforming organic matter into biogas and biofertilizers. In parallel to this, the Circular Economy approach aims at continuous economic growth, in a closed cycle, with greater use of natural resources and reuse of waste, preserving the available resources to the next generations. The aim of this paper is to identify the main articles and authors that relate the topics of biodigesters and Circular Economy. A bibliometric research was executed between the two analysed areas and the main results demonstrated an increase in the publication of themes and the integration between the two areas of research.

Keywords: Biogas; Biodigester; Circular Economy; Sustainability; Renewable Energy

1. Introdução

O crescimento econômico acelerado, o qual nem sempre ocorreu de maneira estruturada e devidamente dimensionada, vem provocando questionamentos na sociedade. O consumo exacerbado dos recursos naturais, aliado a não coexistência com um desenvolvimento sustentável, não está mais se sustentando e, muitos estudos mostram a necessidade de reavaliação desse paradigma. Cada vez mais os consumidores se mostram preocupados com um consumo consciente, com a extração dos recursos naturais e com um maior aproveitamento dos mesmos (MANZINI E VEZZOLI, 2002). Isso está alinhado com as premissas da Economia Circular (EC), que visa dar continuidade ao crescimento econômico, mas de uma maneira mais otimizada, com maior aproveitamento dos recursos extraídos em cada processo, criando um ciclo fechado, que se não for contínuo, pelo menos mais proveitoso dos recursos disponíveis. Diante disso, a utilização de biodigestores para destinação correta dos resíduos orgânicos apresenta-se como um ponto de intersecção com as premissas da economia circular.

Biodigestores são câmaras fechadas que impedem a entrada de oxigênio, para que esses funcionem como reatores químicos, transformando a matéria orgânica em biogás, a partir da digestão anaeróbica das bactérias. Segundo Deganutti *et al.* (2002), o biogás é basicamente composto de uma mistura de gases contendo principalmente metano e dióxido de carbono, encontrando-se ainda em menores proporções gás sulfídrico e nitrogênio. Para que haja um correto funcionamento do biodigestor são necessárias algumas precauções, como inexistência de ar, temperatura adequada e diluição correta do material orgânico utilizado para abastecimento. Devido a matéria prima utilizada para abastecimento dos biodigestores ser orgânica, de origem animal ou vegetal, o acesso é fácil, o custo é baixo, e ainda ajuda a diminuir os problemas ambientais de emissão dos GEE (gases do efeito estufa) na atmosfera, contaminação do solos e rios e maior controle na proliferação de insetos e odores desagradáveis.

No Brasil, a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) possui diversos projetos de incentivo a implantação de biodigestores em fazendas de criação de aves, suínos e pecuária, com os quais incentiva a destinação adequada dos dejetos animais e uma



diminuição com o custo energético das fazendas, uma vez que o biogás produzido pelos biodigestores será aproveitado na autossuficiência energética da mesma. A EMBRAPA também conta com o apoio da Itaipu Binacional (operadora da usina hidrelétrica de Itaipu), no projeto ***“Tecnologias para produção e uso de biogás e fertilizantes a partir do tratamento de dejetos animais no âmbito do plano ABC”***. O SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas) também possui projetos de incentivo e apoio, para que pequenos produtores rurais possam instalar e usufruir de biodigestores de pequena escala, em suas propriedades. Com os quais são extraídos o biofertilizante para cultivo de hortas e retirada do biogás para utilização doméstica, como gerador de energia ou abastecimento do fogão a gás (OKONKWO *et al.*, 2018).

O uso de biodigestores no Brasil ainda está em fase de iniciação e há poucos lugares que contam com esse recurso. Embora o Brasil apresente características geográficas naturais que favorecem e propiciem a geração de energia limpa e renovável, como a eólica, a solar e a maremotriz (Giannini Pereira *et al.*, 2012), a utilização de biogás se destaca devido estar também alinhada com a destinação adequada dos dejetos animais e vegetais.

Considerando que cada vez mais os órgãos governamentais e indústrias privadas estão tendo dificuldades em gerir uma destinação correta para os resíduos, os quais não possuem nenhuma serventia para a sociedade, ao contrário, o seu descarte incorreto pode acarretar diversos problemas ambientais e sociais e, sendo esses matéria-prima de abastecimento dos biodigestores, a sua utilização transforma um produto de fim de vida útil, em matéria-prima para início de um novo produto, gerando assim um ciclo fechado da Economia Circular.

Corroborando com esse conceito está Ellen Macarthur Foudation, uma das maiores apoiadoras e disseminadoras da EC da atualidade, a qual atribui a teorias mais recentes, como projeto regenerativo, economia de desempenho, berço a berço, biométrica e economia azul, uma contribuição importante para o aprimoramento e desenvolvimento do conceito de economia circular (ELLEN MACARTHUR FOUADATION, 2013).

Diante disso, o objetivo desse trabalho é identificar os principais trabalhos que integrem essas duas vertentes, economia circular e biodigestores, uma vez que os dois termos são relativamente novos e a simbiose dos dois ainda pouco explorada. Além de analisarmos a coexistência dos termos utilizados, para que sirva de base para trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

É necessário transpor o pensamento de que a economia linear esteja mais propensa ao desenvolvimento econômico do que a Economia Circular (EC). Estudos demonstram que a EC tende a contribuir com o crescimento econômico de maneira mais viável e perene, sem afetar as gerações futuras. Corroborando com isso Ghisellini *et al.* (2016), defende que a EC visa a desassociação do crescimento econômico com a pressão ambiental, implementando padrões radicalmente novos, os quais contribuem para que a sociedade alcance uma maior sustentabilidade e qualidade de vida, com baixos ou inexistentes custos de materiais, energia e danos ao meio ambiente em geral, aumentando a eficiência produtiva, por meio o uso apropriado, reutilização e troca de recursos, em resumo, fazer mais com menos.

Para Geissdoerfer *et al.* (2017), embora os termos EC e sustentabilidade estejam ganhando maior amplitude, as semelhanças e diferenças entre os dois conceitos permanecem



ambíguas. A EC é um sistema regenerativo, no qual a entrada de recursos e os desperdícios são minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento de loops de material e energia, sendo motivada principalmente pela observação de que os recursos poderiam ser melhores utilizados e os resíduos e emissões reduzidos com sistemas circulares, em vez de lineares, faça-use-descarte.

A EC tende a aprimorar o modelo atual e mais disseminado de economia linear, onde pouco se preocupa com os recursos utilizados, ou com a disposição final do bem de consumo. Tal mudança está muito além de opcional ou sazonal, tornou-se essencial para darmos continuidade a engrenagem do mundo no qual estamos inseridos. Para Blomsma e Brennan (2017), a EC fornece uma nova perspectiva para a gestão de resíduos e recursos, uma vez que espaço para debates e oportunidades de pesquisa para o ramo industrial são gerados.

A definição e contextualização de EC para os autores acima fomenta a implantação e uso de biodigestores como uma das aplicabilidades da EC, em equilíbrio com a sustentabilidade, conscientização e reaproveitamento dos recursos e resíduos. Como se os biodigestores fossem o elo de ligação entre o fim e o início do ciclo de uma EC em relação aos resíduos orgânicos, a utilização de uma energia derivada de resíduos em toda a cadeia de valor do produto.

Conforme visto anteriormente, os principais produtos obtidos com a utilização de biodigestores é o biogás e o biofertilizante. Para Martins das Neves *et al.* (2009), o biogás é uma fonte de energia renovável, produzida por um grande número de espécies microbianas anaeróbicas, que fermentam o material orgânico sob condições controladas de temperatura, umidade e acidez. Segundo eles, vários pesquisadores provaram que a construção de digestores teve efeitos positivos na economia, sociedade, ecologia e meio ambiente.

Outra vantagem considerável na utilização de biodigestores, é que ele é uma alternativa considerável para a redução dos gases do efeito estufa, ao mesmo tempo que uma fonte renovável de geração de energia limpa. Durante o processamento do biodigestor através da digestão anaeróbica, os biodigestores reduzem os compostos orgânicos em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). A captura e combustão subsequentes de CH_4 podem resultar em uma redução nas emissões dos GEE em comparação com o gerenciamento tradicional de resíduos (FRESCH *et al.*, 2011).

Atualmente a principal empregabilidade dos biodigestores está concentrada na agropecuária. Um modelo agrícola circular que utiliza o biogás como núcleo, pode conferir economia de energia e reduções de carbono, diminuindo assim o uso de energia derivada de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, reduziria a emissão de GEE (ZHAO *et al.*, 2016).

Xue *et al.* (2019) traz uma analogia mais conceitualizada entre o uso de biodigestores e a EC, onde a apresenta aplicada ao modelo de ciclo da pecuária, principalmente na redução de carbono nos seguintes aspectos: redução na emissão de carbono à medida que os resíduos retornam ao sistema, uso de biogás na substituição de combustíveis fósseis e substituição dos fertilizantes tradicionais pelo biofertilizante.

3. Método de Pesquisa



Para realização da revisão sistemática e futura análise bibliométrica foi utilizada a base de dados SCOPUS, pois conforme mencionado por Falagas *et al.* (2008), a SCOPUS oferece cerca de 20% mais cobertura que o Web of Science, enquanto o Google Scholar oferece resultados de precisão inconsistente. A SCOPUS é a maior base de dados de literatura científica especializada (RODRIGUES *et al.*, 2016).

Com a utilização do software VOSviewer, gerou-se um mapa utilizando diversos termos relacionados com a pesquisa, onde pode-se observar que os temas mais mencionados são: *Biogas* e *Circular Economy*. Portanto, na SCOPUS foi realizada uma pesquisa de busca utilizando esses termos nas plataformas de Título, Resumo e Palavras-chave, obtendo 174 documentos. A Figura 1 foi obtida através da utilização da ferramenta *Analyze Search Results* da SCOPUS.

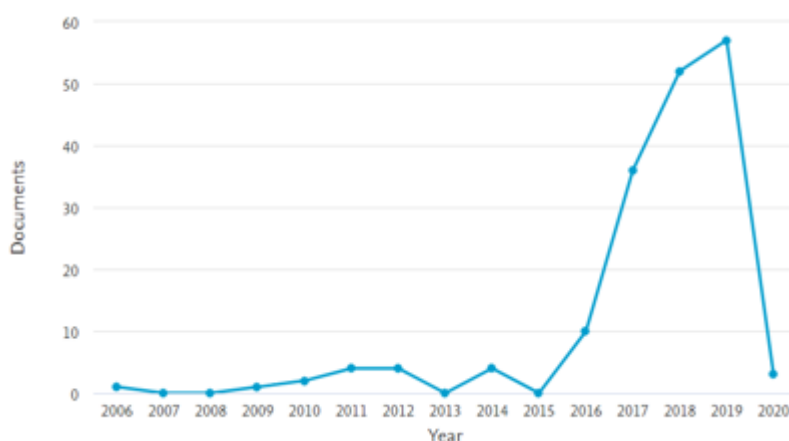


Figura 1: Quantidade de documentos por ano de publicação. Fonte: elaborado pelos autores.

Observou-se que, embora o primeiro documento conste na data de 2006, é a partir de 2016 que o tema ganha maiores proporções, portanto, foram desconsiderados os documentos anteriores a 2016. Os trabalhos encontrados foram filtrados exclusivamente considerando: artigos, língua inglesa, pertencentes à Journals e áreas de pesquisa relevantes, sendo elas: *Environmental Science, Energy, Engineering, Agricultural and Biological Sciences, Business, Management and Accounting* e *Economics, Econometrics and Finance*. Optou-se por selecionar as áreas de pesquisa citadas acima, por entendermos que são mais condizentes com os temas analisados.

Para a realização de uma pesquisa mais refinada foram analisados os resumos dos artigos, com o intuito de que houvesse uma seleção apenas dos artigos que fossem relevantes ao tema, ou seja, apresentassem alguma congruência entre as duas vertentes: Biogás/Biodigestores e Economia Circular.

4. Apresentação e Discussão dos Resultados



A pesquisa realizada na SCOPUS com os termos “biogás” e “circular economy” obteve 158 documentos. Estes documentos foram filtrados para 97 artigos, considerando os filtros: artigos, língua inglesa, publicados em *Journals* e em áreas relevantes. Por fim, uma análise mais aprofundada dos resumos resultou em apenas 51 artigos pertinentes.

A Figura 2 apresenta a quantidades de artigos publicados por ano após a aplicação dos filtros mencionados. Pode-se observar que o período de maior publicação é o ano de 2019, estando o gráfico em um crescimento considerável, o que reafirma a hipótese inicial de que o tema é atual, substancial e de relevância para futuros trabalhos, o qual vem despertando significativo interesse da comunidade acadêmica.

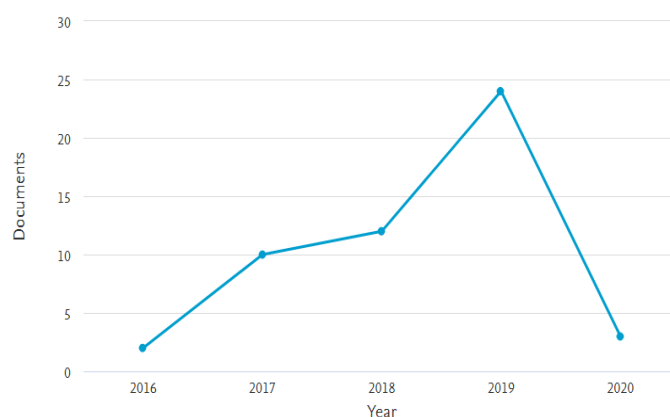


Figura 2: Quantidade de artigos por ano de publicação. Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 3 apresenta a quantidade de artigos publicados separadamente por cada *Journal*, em que o *Journal* de maior destaque é o Journal of Cleaner Production, seguido pelo Waste Management.

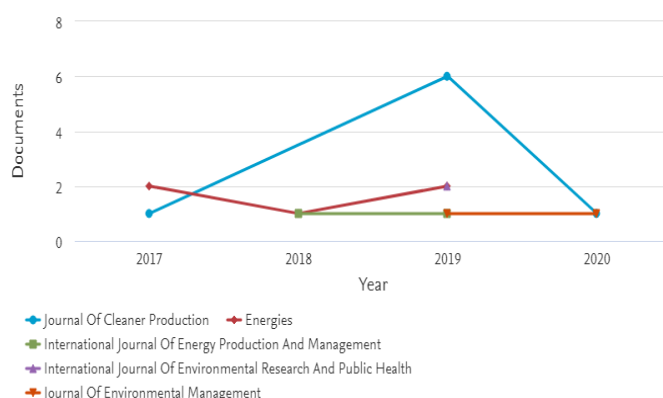


Figura 3: Quantidade de artigos publicados por *Journal*. Fonte: elaborado pelos autores.

Pode-se observar na Figura 4 a quantidade de artigos publicados por autor. Coincidentemente todos os autores apresentados possuem 2 artigos, referentes aos temas, publicados no período analisado.

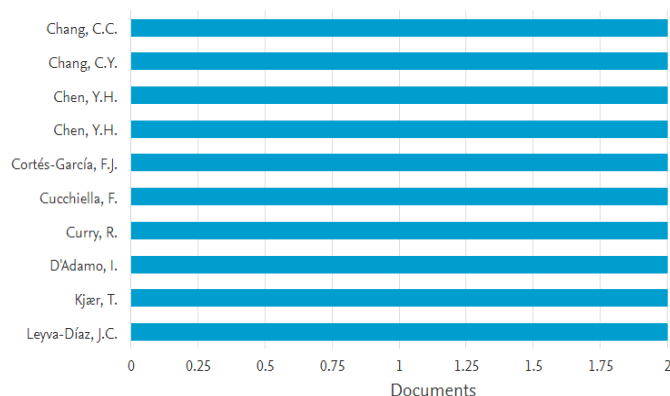


Figura 4: Artigos publicados por autor. Fonte: elaborado pelos autores.

Em complemento a Figura 4, com a utilização do software VOSviewer, elaborou-se a Figura 5, sendo ela um gráfico de rede entre os principais autores e suas co-autorias. Pode-se observar uma dispersão grande entre os autores, com poucas intersecções entre eles. A maioria dos autores são chineses, apresentando correlações entre eles. Seguidos de autores italianos e espanhóis.



Figura 5: Gráfico de rede de co-autoria. Fonte: elaborado pelos autores.



Ao analisar apenas os países de publicação, desconsiderando os autores, a figura apresenta outra perspectiva. Conforme mostra a Figura 6, A Itália encontra-se em primeiro lugar (com 14 artigos) e a China em quarto lugar (com 5 artigos).

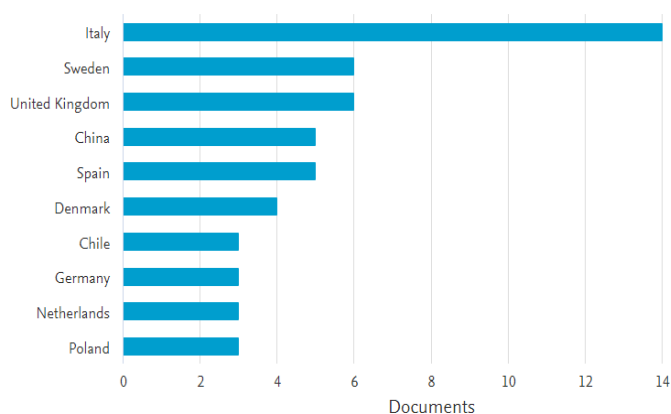


Figura 6: Artigos publicados por países. Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 7 estão apresentados a quantidade de artigos publicados conforme a área de estudo. A área de pesquisa com o maior número de artigos publicados, sendo eles 44 artigos, o que representa 33,6% do total, é Ciência Ambiental. Em seguida, a área de Energia, com um total de 22 artigos, os quais representam 18,5%. Em terceiro lugar temos Engenharia, com 20 artigos publicados, representando um total de 16,8%.

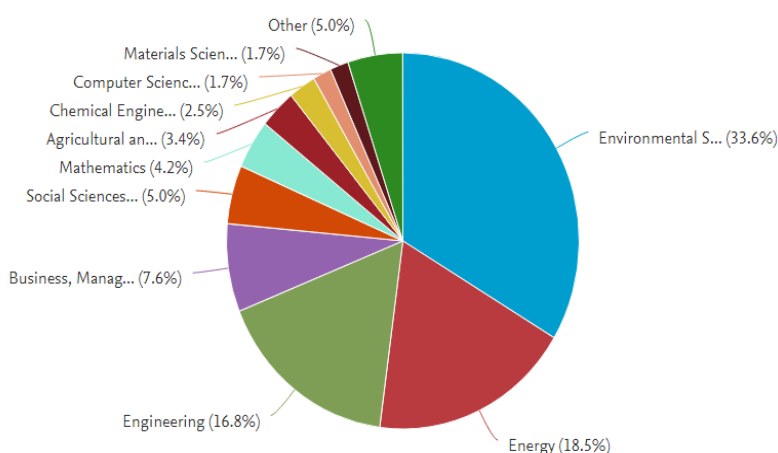


Figura 7: Quantidade de artigos separados por área de estudo. Fonte: elaborado pelos autores.

Com a utilização do VOSviewer, foram criados os gráficos de rede apresentados a seguir. A Figura 8 apresenta a rede de coocorrência das palavras-chave utilizadas pelos autores. Podemos observar no centro da rede, como principais palavras e interligadas: *anaerobic digestion*, *biogas* e *circular economy*. Essas são as palavras que mais aparecem nos artigos

analisados, as demais palavras possuem interligações, mas com menor ênfase. As palavras periféricas são as menos citadas.

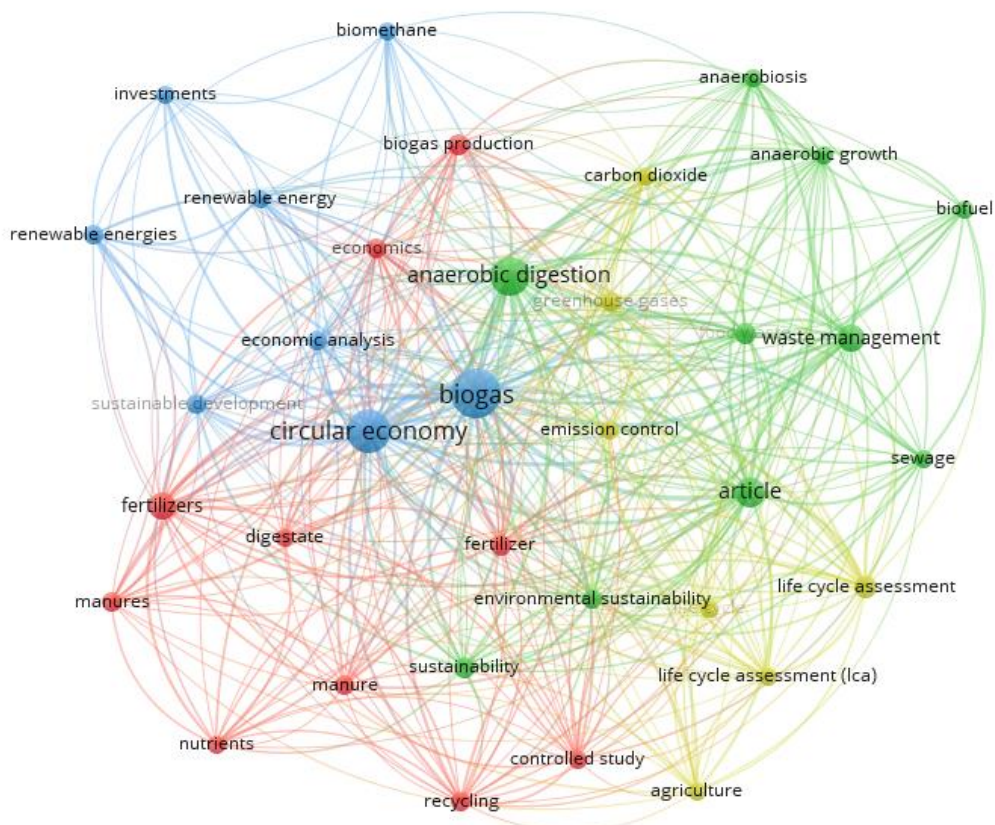


Figura 8: Rede de coocorrência das palavras-chave. Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 9 é derivativa da Figura 8, com o único intuito de facilitar a visualização das principais redes de intersecção. Ela apresenta a rede de coocorrência partindo do termo *biogas*.

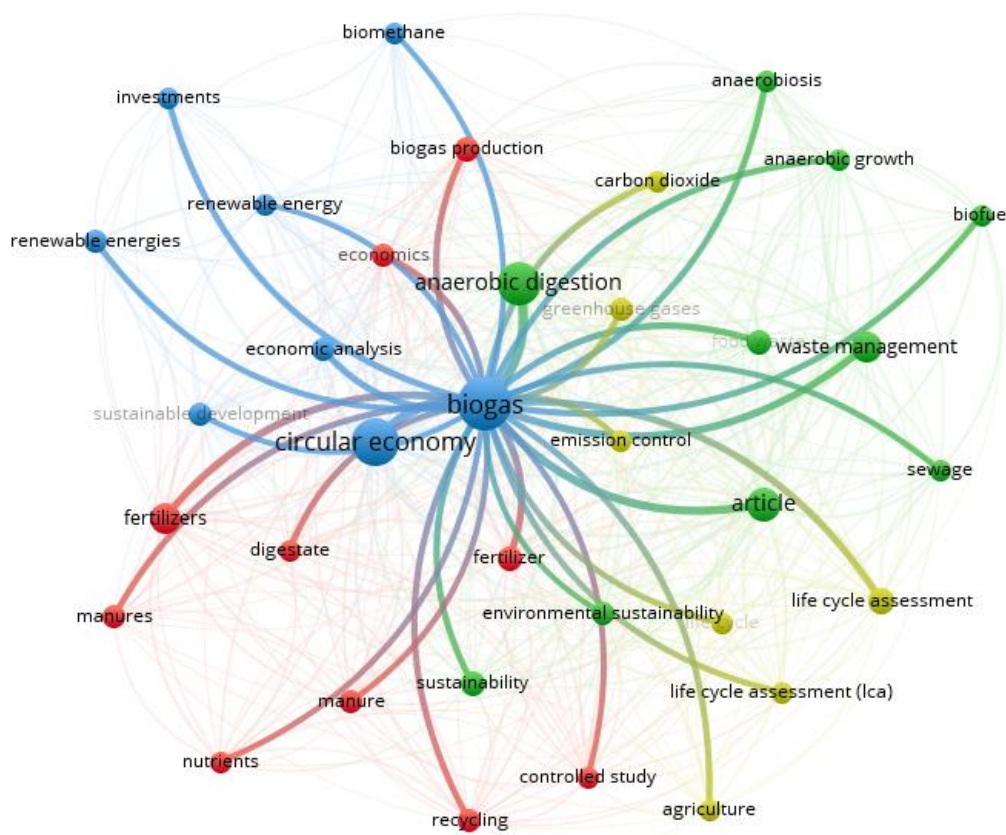


Figura 9: Rede de coocorrência de palavras-chave (Biogas e Circular Economy). Fonte: elaborado pelos autores.

A análise dos artigos presentes na rede da Figura 9 resultou na identificação dos principais temas relacionados entre biogás e EC. Termos como “*fertilizers*”, “*biomethane*” e “*digestate*” estão intimamente relacionados com o escopo biológico, enquanto termos como “*investments*”, “*life cycle assessment*” e “*economic analysis*” implicam em questões econômicas. A integração entre ambos os escopos implica fortemente em questões ambientais, o que justifica a presença das palavras-chave “*sustainability*” e “*recycling*”.

5. Considerações Finais

O objetivo deste trabalho foi analisar a integração entre os temas de pesquisa biodigestores e economia circular. Para tal, a pesquisa bibliométrica foi executada relacionando os dois temas na base de dados Scopus retornando 51 artigos. Os resultados demonstraram que o termo mais utilizado na academia é o biogás para se referir a trabalhos sobre biodigestores.

Além disso, os resultados mostraram que a Itália é o país com maior número de artigos publicados sobre o tema. No entanto, a pesquisa bibliométrica revelou que a principal nacionalidade dos autores envolvidos com o tema é chinesa, o que reafirma a análise de estudos anteriores, onde os principais artigos publicados e autores são chineses. Os governantes chineses compreenderam que não é mais viável um desenvolvimento contínuo



linear, o qual se inicia com a retirada dos recursos naturais até a geração de resíduos que serão descartados na natureza, pois trata-se de um processo economicamente e ecologicamente ineficiente (MATHEWS *et al.*, 2011).

Notou-se a intersecção entre biogás e a EC, além de todas as suas ramificações, como digestão anaeróbica, fertilizantes, energia renovável e desenvolvimento sustentável. O interesse da academia pelos dois temas é condizente com a preocupação ambiental de escassez dos recursos naturais e destinação inadequada dos resíduos, efeito este agravado com o consumo acentuado. Dessa maneira, o objetivo proposto por esse trabalho foi alcançado de maneira satisfatória através da identificação dos principais trabalhos e autores que estejam realizando estudos com a sinergia da EC e o uso de Biodigestores. Foi possível observar também que o tema analisado está em plena ascensão, justificando a realização do trabalho e incentivando o desenvolvimento de trabalhos futuros. Para trabalhos futuros recomenda-se a análise dos objetivos de cada um dos artigos analisados, de modo a verificar a evolução do conhecimento e os principais temas nas áreas pesquisadas.

Como limitação, por se tratar de um trabalho teórico não foi possível avaliar na prática as intersecções dessas duas vertentes, seus pontos fortes e pontos ainda a serem desenvolvidos. Vale destacar também que a escolha da Scopus como base de pesquisa pode limitar os trabalhos analisados. O Google Escolar apresenta uma base de busca maior, o que poderia influenciar positivamente nas análises. A filtragem executada, embora necessária para a execução do trabalho, também pode omitir pesquisas que relacionem as duas áreas. Estudos futuros com uma maior quantidade de trabalhos podem vir a contribuir para uma maior diversidade de redes de coautoria, palavras chave e áreas publicadas.

Referências

- BLOMSMA, F.; BRENNAN, G. The emergence of circular economy: A new framing around prolonging resource productivity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 603-614, 2017.
- DEGANUTTI, R.; PALHACI, M.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. Proceedings of the 4th **Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.
- FALAGAS, M. E.; PITSOUNI E.I., MALIETZIS G. A.; PAPPAS, G. Comparison of PubMed, Scopus, web of science, and Google scholar: strengths and weaknesses. **The FASEB journal**, v. 22, n. 2, p. 338-342, 2008.



FLESCH, T. K.; DESJARDINS, R. L.; WORTH, D. Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 9, p. 3927-3935, 2011

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M. P.; HULTINK, E. J. The Circular Economy—A new sustainability paradigm? **Journal of cleaner production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

PEREIRA, M. G.; CAMACHO, C. F.; FREITAS, M. A. V.; SILVA, N. F. The renewable energy market in Brazil: Current status and potential. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 6, p. 3786-3802, 2012.

MACARTHUR, E. Towards the circular economy, economic and business rationale for an accelerated transition. **Ellen MacArthur Foundation**: Cowes, UK, 2013.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. O desenvolvimento de produtos sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais. **Edusp**, 2002.

NEVES, L; C. M.; CONVERTI, A.; PENNA, T. C. V. Biogas production: new trends for alternative energy sources in rural and urban zones. Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry-Plant Equipment-Process **Engineering-Biotechnology**, v. 32, n. 8, p. 1147-1153, 2009.

MATHEWS, J.; TAN, H. Progress toward a circular economy in China: The drivers (and inhibitors) of eco-industrial initiative. **Journal of industrial ecology**, v. 15, n. 3, p. 435-457, 2011.

OKONKWO, U. C.; ONOKPITE, E.; ONOKWAI, A. O. Comparative study of the optimal ratio of biogas production from various organic wastes and weeds for digester/restarted digester. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences**, v. 30, n. 2, p. 123-129, 2018.

RODRIGUES, R.; TAGA, V.; PASSOS, M.. Research articles about open access indexed by Scopus: **A content analysis**. Publications, v. 4, n. 4, p. 31, 2016.

XUE, Y.; LUAN, W.; WANG, H.; YANG, Y.. Environmental and economic benefits of carbon emission reduction in animal husbandry via the circular economy: Case study of pig farming in Liaoning, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 238, p. 117968, 2019.

ZHAO, G.; SHUANG, J.; LAN, J.; TING, Z.; FANG, M. Research and application of circular economy mode based on biogas energy as a significant technique. Kezaisheng Nengyuan/Renewable **Energy Resources**, v. 34, n. 10, p. 1574-1580, 2016.